

**BROMSSTRÅLEINDUCERAD FISSION
I GULD OCH BLY**

INGVAR KROON

LUND 1972

BROMSSTRÅLEINDUCERAD FISSION I GULD OCH BLY

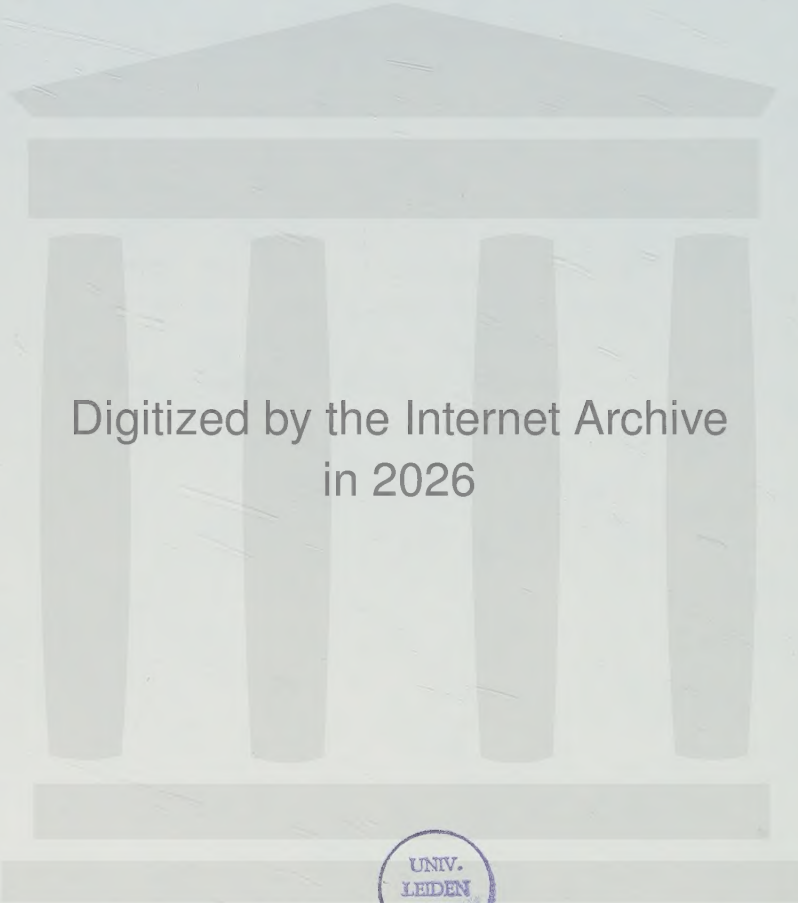
Avhandling för doktorsexamen

Avhandlingen kommer att försvaras
vid en offentlig disputation i
Fysiska institutionens
föreläsningssal B torsdagen den
18 maj 1972 kl 10.15

av

INGVAR KROON
Fil lic, Sm

L U N D 1972



Digitized by the Internet Archive
in 2026



Föreliggande avhandling omfattar följande arbeten:

- I. Intermediate energy photofission in tantalum, gold and lead
(tillsammans med B Forkman)

Nuclear Physics A172, 141 (1972)

- II. High energy photofission in gold and lead
(tillsammans med B Forkman och K Tesch)

Nuclear Physics Report LUNP 7204
(för publicering i Nuclear Physics)

- III. Energy distribution of fragments from the photofission of ^{197}Au using glass detectors

Nuclear Physics Report LUNP 7205
(för publicering i Nuclear Physics)

Preliminära rapporter gavs vid:

1. The Gordon Research Conference on Photonuclear Reactions, Tilton School, Tilton, 1967
2. The Gordon Research Conference on Photonuclear Reactions, Tilton School, Tilton, 1971
3. The VIth Informal European Conference on the Interactions of High Energy Particles and Complex Nuclei, Kitzbuehel, Austria, 1971.

Träffytan för absorption av fotoner i atomkärnor är väl känd och kan till stora delar förklaras kvalitativt. För energier mellan ungefär 10 och 30 MeV, jättere-sonansområdet, karakteriseras träffytan av en kraftig resonans med ett maximum som varierar mellan ca 14 MeV

för de tyngsta kärnorna och ca 22 MeV för de lättaste¹⁾. Resonansen har kunnat beskrivas såväl med utgångspunkt från en kollektiv dipolvibration i kärnan som från skalmodellbetraktelser.

I området från jätteresonansen och upp till ungefär 150 MeV har man funnit en snabbt avtagande träffyta och absorptionen har beskrivits som en växelverkan mellan fotonen och ett neutron-proton-par i kärnan, kvasi-deuteronområdet²⁾.

För fotonenergier över 150 MeV, pionområdet, antages absorptionen i huvudsak ske genom växelverkan med en enskild nukleon i kärnan. För energier över ca 1000 MeV har en modell utvecklats, vektordominansmodellen, enligt vilken växelverkan mellan fotonen och nukleonen i allt större utsträckning förmedlas av framförallt rho-mesoner och karaktären av fotonen som en leptonström ersättes med egenskaper hos en hadronström. Träffytekurvan uppvisar en markerad resonans kring ungefär 300 MeV, första mesonresonansen, och blir sedan, bortsett från ett par mindre resonanser kring 700 och 1000 MeV, i stort sett konstant. Den vid absorptionen bildade exciterade nukleonen, isobaren, sönderfaller nästan momentant ($\approx 10^{-23}$ s) till en stabil nukleon och en eller flera pioner. På sin väg ut växelverkar dessa partiklar oftast med kärnan varvid denna exciteras mer eller mindre kraftigt. I den av Serber³⁾ uppställda tvåstegsmodellen utvecklas först en mycket snabb ($\approx 10^{-22}$ s) kaskad av partiklar ut ur kärnan. Därefter sker en mycket långsammare process då kärnan deexciteras genom förångning av partiklar. För de tyngre kärnorna förekommer i detta andra steg också fission.

Fotoninducerad fission har ingående studerats för tunga element som torium och uran medan experimentella data för kärnor med $Z \leq 83$ fortfarande är få. I stora drag uppvisar träffytekurvorna för tunga element stora likheter med den ovan diskuterade träffytan för fotonab-

sorption i en kärna. För fotonenergier i jätteresonansområdet är fissionsprocessen för de tyngsta kärnorna mycket väl undersökt. Här har man haft tillgång till både monoenergetiska fotoner och den fotonkälla som bromsstrålningen från en elektronaccelerator utgör. Vid högre energier måste, inte minst av intensitetsskäl, bromsstrålning användas även om vissa framsteg gjorts för att producera monoenergetiska fotoner genom e^+e^- positroners annihilation i flykten. Den kontinuerliga fördelningen av fotonenergier i bromsstrålespektrum är en allvarlig nackdel och gör utforskandet av alla typer av kärnfotoreaktioner oerhört svåra.

Sålunda uppvisar de i olika laboratorier bestämda fotofissionsträffytorna i sådana tunga element som torium och uran oväntat stora diskrepanser sinsemellan ⁴⁾, trots att sannolikheten för fission där är mycket stor. Bidraget till fissionsutbytet från fotoner inom bromsstrålespektret med energier motsvarande jätteresonansområdet dominerar och beräkningarna av träffytans uppförande för högre fotonenergier kompliceras.

För kärnor med $Z \leq 83$ ligger fissionsbarriären så högt att man för bromsstrålningsenergier över jätteresonansens helt kan bortse från bidrag från denna. Även om fotofissionsträffytorna för dessa element är mycket mindre än i exempelvis uran är sådana kärnor bättre lämpade att använda vid studiet av effekter som fotopionproduktion.

I de arbeten som avhandlingen omfattar undersöks fotofission i guld och bly. Eftersom fissionsträffytorna är små måste man bestråla under lång tid och dessutom registrera fissionsfragmenten under bestrålningens gång i eller i omedelbar närhet av fotonstrålen. Den för ca 10 år sedan upptäckta metoden att registrera laddade partiklar i dielektriska fasta ämnen som glas och glimmer och sedermera också många plaster öppnade oändliga möjligheter. Om den laddade partikelns jonisation i

mediet är tillräckligt stor sker sådana bestående förändringar längs partikelns väg att ett spår kan etsas fram kemiskt. Denna spårbildning är ett resultat av att etsningen förlöper snabbare längs partikelspåret än för mediet i övrigt. Monografier ^{5,6)} som behandlar en mängd av material, deras egenskaper och deras användningsområden inom de mest skilda vetenskaper visar den stora betydelse denna typ av detektorer fått.

Vid registrering av fissionsfragment visar sig vanligt sodaglas ha lämpliga egenskaper. Denna detektor används med fördel för att bestämma små träffytor och är okänslig för fotoner, lätta partiklar och fragment med mass-tal mindre än ungefär 30. Etsningen och den efterföljande avsökningen i mikroskop är enkla. Nackdelen att fragment med infallsvinklar över $50-55^\circ$ inte ger synliga spår efter etsningen kan elimineras genom ett lämpligt val av försöksgeometri. I samtliga avhandlingens arbeten har vanligt objektglas använts.

I arbete I studeras vinkelfördelningarna vid fotofission. Bromsstrålning från Lunds 1200 MeV elektronsynkrotron användes vid bestrålning av guld och bly i en vakuumkammare. En svag anisotropi karakteriserad av ett större antal fragment i framåt- än i bakåtriktningen erhålles. Denna effekt, som inte tidigare observerats i fotofission, antas bero på att kärnan i fissionsögonblicket har en framåtriktad hastighet som beror på att en del av fotonens rörelsemängd överförs till kärnan vid absorptionsprocessen. I kärnans vilosystem är vinkelfördelningen isotrop. Det i ett sandwich-experiment uppmätta förhållandet mellan antalet fragment i framåt- och bakåtriktningen, N_f/N_b , stämmer väl med vinkelfördelningarna. Förhållandet varierar endast långsamt med bromsstrålningens ändpunktsenergi.

I arbete II, som är en utvidgning av föregående arbete till energier upp till 7.4 GeV genom samarbete med K Tesch vid elektronsynkrotronen i Hamburg där också

bestrålningarna utfördes, undersöks fissionsträffytan och förhållandet N_f/N_b . Fissionsutbyten analyseras ofta i fotonfallet med hjälp av ett bromsstrålespektrum av formen $1/E$, vilket då ger medelträffytor inom ett bestämt energiintervall. Vid en noggrannare analys erhöles en träffytekurva med en resonans som i stort överensstämmer med läget för den första mesonresonansen vid 300 MeV. Uppenbarligen spelar pioneffekter en avgörande roll i fotofission vid dessa energier. Fissionsträffytan mellan 1 och 7 GeV är nära konstant. De uppmätta värdena på N_f/N_b bestämmer kärnans hastighet $v_{||}$ i fotonens riktning relativt fragmentens hastighet V . Kring mesonresonansen vid 300 MeV måste det bildade pion-nukleon-paret reabsorberas i kärnan och excitera den kraftigt för att fission skall ske. Det måttliga beroendet hos $v_{||}/V$ av fotonenergin tyder på att excitationenergin efter kaskaden för kärnor som undergår fission ökar mycket långsamt med energin.

Genom mätning av spårdiametrar i glas för vinkelrätt infallande fotofissionsfragment från guld visas i arbete III att energifördelningen är symmetrisk med en kinetisk medelenergi av 70 MeV. Kärnans framåtriktade rörelse i fissionsögonblicket demonstreras av olika energier för fragment i framåt- och bakåtriktningen. Glasdetektorerna kalibrerades med ett ^{252}Cf -preparat och gav en energifördelning som stämde mycket väl med kända fördelningar uppmätta med ytbarriärdetektorer. Arbetet är ett exempel på ytterligare ett användningsområde för denna typ av detektorer.

Till min handledare, professor Bengt Forkman, vill jag rikta ett särskilt varmt tack för många års omfattande och utomordentligt instruktiva handledning samt hans oförtröttliga intresse och stöd. Jag vill också framföra ett hjärtligt tack till professor Sven Johansson för givande diskussioner och visat intresse för mitt arbete.

Min medförfattare Klaus Tesch vill jag tacka för

värdefullt samarbete och många goda råd.

Slutligen vill jag tacka alla vänner och kolleger inom kärnfotogruppen och inom Fysiska institutionen som på många olika sätt hjälpt och inspirerat mig att slutföra detta arbete.

REFERENSER

1. E G Fuller and E Hayward in Nuclear reactions edited by P M Endt and P B Smith, Vol II, North-Holland Publishing Co
2. J S Levinger, Phys Rev 84, 43 (1951)
3. R Serber, Phys Rev 72, 1114 (1947)
4. Y Wakuta, J Phys Soc Japan 31, 12 (1971)
5. R L Fleischer, P B Price and R M Walker in Annual review of nuclear science, Vol 15, 1965
6. P B Price and R L Fleischer in Annual review of nuclear science, Vol 21, 1971

